

# Dolomías controladas por fracturas en carbonatos aptienses de la zona de Benicàssim (SE Cuenca del Maestrat): distribución y características petrográficas

*Fault-controlled dolostones in aptian carbonates from the Benicàssim area (SE Maestrat basin): distribution and petrographic characteristics*

Juan Diego Martín-Martín <sup>(1,3,4)</sup>, Enrique Gomez-Rivas <sup>(2,4)</sup>, Anna Travé <sup>(1,4)</sup>, Ramon Salas <sup>(1,4)</sup> y Jaume Vergés <sup>(3,4)</sup>

<sup>(1)</sup> Departament de Petrologia, Geoquímica i Prospecció Geològica, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, España.

juandiegomartin@ub.edu, atrave@ub.edu, ramonsalas@ub.edu,

<sup>(2)</sup> Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, Edifici Cs, 08193 Bellaterra, España. enrique.gomez@uab.es

<sup>(3)</sup> Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera" (CSIC), Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona, España. jverges@ictja.csic.es

<sup>(4)</sup> ExxonMobil (FC)2 Alliance (Fundamental Controls on Flow in Carbonates)

## ABSTRACT

The study of fault-controlled dolostones has increased during the last decade due to the existence of numerous equivalent hydrocarbon reservoirs around the world. This contribution presents a new case study of fault-controlled dolostones that constitutes an excellent outcrop analogue for partially dolomitized reservoirs. Field data indicate that the dolomitization of the Middle Aptian to Early Albian shallow marine carbonates in the Benicàssim area (SE Maestrat Basin) resulted in massive stratiform to sub-stratiform tabular bodies, up to 150-m-thick, that extend for several thousand square meters. Dolostones bodies occur in close association with basement faults and appear intercalated between very low porosity mud-dominated facies and/or early cemented grain-dominated facies. Petrographic analyses indicate that the dolostone registers the typical burial paragenesis characterized by the host limestone replacement, dolomite cementation and sulfide MVT mineralization. Most of the dolostone volume (60-70%) is a replacive dolomite with a characteristic fabric-retentive texture and low porosity. Results indicate that the dolomitization process was primarily controlled by the structure of the area, as well as the limestone facies and the early diagenetic processes.

**Key-words:** Maestrat, Aptian, dolomite, fault-controlled, MVT.

## RESUMEN

El estudio de dolomías se ha incrementado notablemente en la última década debido a la existencia de numerosos almacenes de petróleo en esta litología. Esta contribución presenta un nuevo ejemplo de dolomías controladas por fracturas que constituye un excelente análogo para reservorios parcialmente dolomitizados. Los datos de campo indican que la dolomitización de los carbonatos marinos de edad Aptiense Medio-Albiense Inferior de la zona de Benicàssim (SE Cuenca del Maestrat) originó cuerpos tabulares, estratiformes a sub-estratiformes, que alcanzan 150 m de espesor. Estos cuerpos están relacionados con fallas de zócalo y aparecen intercalados entre facies ricas en fango micrítico y/o facies grano-soportadas cementadas por calcita. El análisis petrográfico indica que las dolomías registran la típica paragénesis de enterramiento caracterizada por el reemplazamiento de la roca de caja, cementación de dolomita y mineralización de tipo MVT. La mayor parte del cuerpo dolomítico (60-70%) está formado por un mosaico de cristales de dolomita de textura retentiva y baja porosidad. Los resultados obtenidos sugieren que la dolomitización estuvo controlada fundamentalmente por las fallas regionales y, en menor medida, la fábrica deposicional y la cementación temprana (diagénesis).

**Palabras clave:** Cuenca del Maestrat, Aptiense, dolomía, fractura, MVT.

Geogaceta, 51 (2012), 19-22.  
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2011  
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2011  
Fecha de aceptación: 25 de noviembre de 2011

## Introducción

El estudio de dolomías controladas por fracturas se ha incrementado notablemente en los últimos años debido a la existencia de numerosos almacenes de petróleo emplazados en contextos similares. El presente trabajo tiene como objetivo la caracterización espacial (distribución y geometría) y textural de las dolomías que reemplazan las calizas de la Formación Benassal (Cretácico

Inferior) en la zona de Benicàssim (SE Cuenca del Maestrat). Así mismo, se describen las mineralizaciones de tipo Mississippi Valley-Type (MVT) asociadas a estas dolomías.

## Contexto geológico

La zona de estudio se localiza en el sector SE de la Cuenca del Maestrat, cuya estructura es el resultado de la intensa exten-

sión (*rifting*) registrada entre el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior (Salas *et al.*, 2001). La zona se caracteriza por la presencia de dos sistemas de fracturas de zócalo y escala sísmica perpendiculares entre sí. El primer sistema presenta una orientación NO-SE y vergencia hacia el E (falla de Benicàssim), mientras que el segundo tiene una dirección típicamente ibérica NE-SO y vergencia hacia el S (falla del Campello) (Fig. 1). En el bloque inferior de la falla de

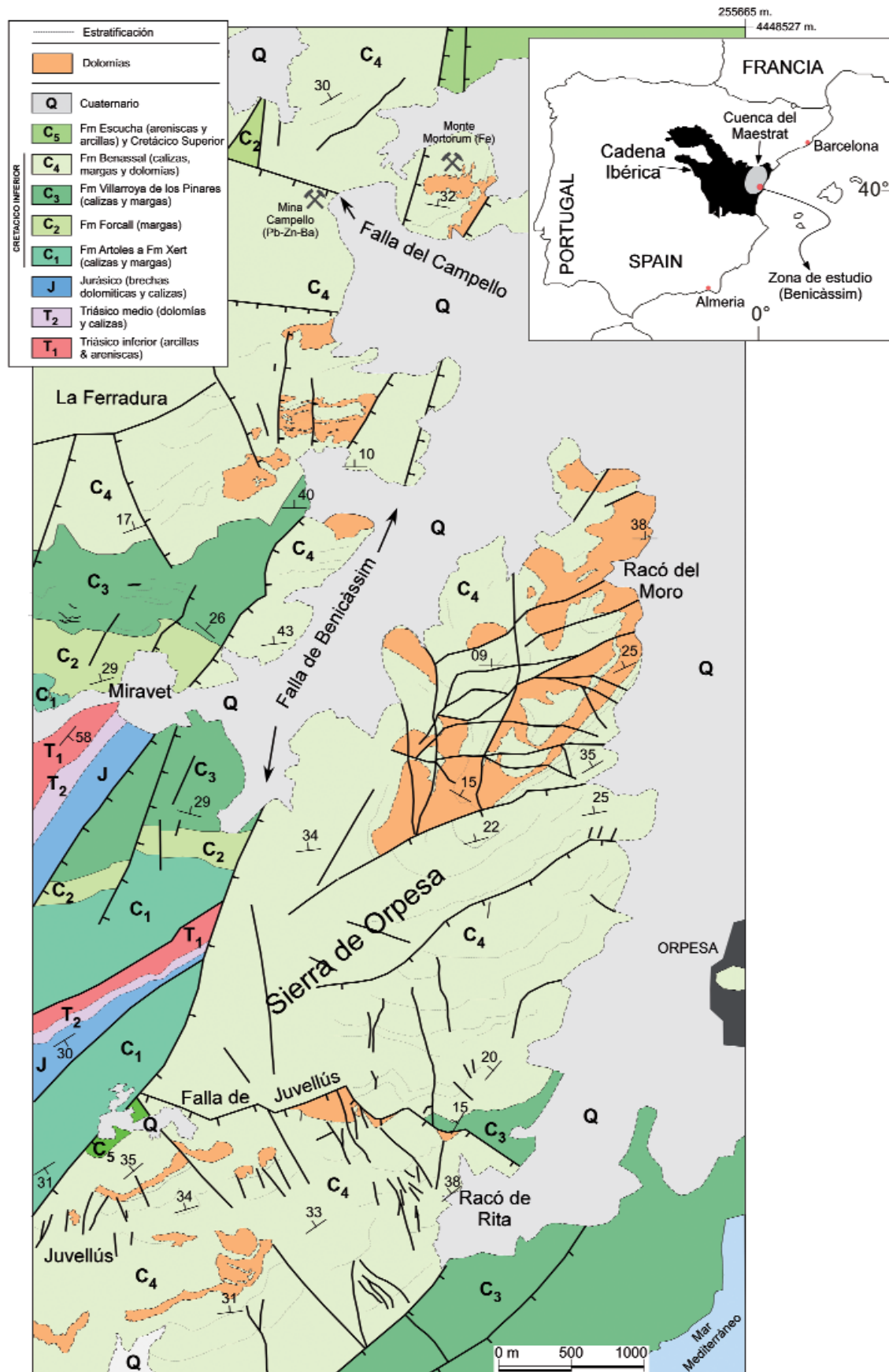


Fig. 1.- Mapa geológico de la zona de Benicàssim que muestra la distribución de las dolomías (naranja) y su relación espacial con las fallas de Benicàssim y del Campello.

Fig. 1.- Geologic map of the Benicàssim area showing the distribution of the dolostone (orange) and the spatial relation with the Benicàssim and Campello faults.



**Fig. 2.- Imagen del paraje del Racó del Moro (Sierra de Orpesa) que muestra la distribución estratiforme del primer nivel dolomítico.**

*Fig. 2.- Field view of the Racó del Moro site (Orpesa Ranges) showing the first stratabound dolomite geobody.*

Benicàssim (Desert de les Palmes) afloran sedimentos paleozoicos, pérmicos y triásicos y una cobertera jurásica y cretácica muy reducida (Roca *et al.*, 1994). Por el contrario, y como resultado de la extensión cretácica, el bloque superior contiene una serie del Cretácico inferior que sobrepasa los 2000 m de potencia, buena parte de los cuales son de edad aptienses (Sierra de Orpesa).

La Formación Benassal está formada por una sucesión caliza que alcanza 1500 m de potencia. Estas calizas aparecen en facies marinas de aguas someras caracterizadas por la abundancia de orbitolinas, rudistas y corales (Tomás *et al.*, 2007). En base al registro de ammonites en la cuenca, la edad de la Formación Benassal se ha establecido entre el Aptiense Medio (Gargasense) y el Albiense inferior (Moreno-Bednar *et al.*, 2009).

La calizas de la Formación Benassal han sido reemplazadas por dolomías que forman la roca de caja de depósitos minerales de tipo MVT (Climent-Domènech *et al.*, 2007; Gomez-Rivas *et al.*, 2010; Martín-Martín *et al.*, 2010). Mineralizaciones equivalentes descritas en el oeste de la Cuenca del Maestrat han sido datadas como Paleoceno inferior (62,5 Ma; Grandia *et al.*, 2000).

## Metodología

El trabajo de campo incluye la realización de una cartografía geológica, la caracterización litoestratigráfica de la Formación Benassal y el muestreo de las dolomías, de las calizas y de los rellenos de fracturas y venas. Las láminas delgadas se analizaron mediante microscopía petrográfica (185) tras tinción con Alizarín Red-S y mediante microscopía de catodoluminiscencia (60).

## Resultados

### Posición estratigráfica y geometría

Las dolomías de la zona de Benicàssim (Sierra de Orpesa) reemplazan varios tramos de calizas localizados en la parte superior de la Formación Benassal. La dolomitización ha dado lugar a cuerpos dolomíticos tabulares de escala sísmica que se extienden a lo largo de varios kilómetros cuadrados siguiendo una distribución estratiforme a sub-estratiforme (Figs. 1, 2 y 3).

El contacto entre las dolomías y las calizas (frente de dolomitización) se reconoce fácilmente en afloramiento en base al contraste de color entre ambas litologías (gris y marrón, respectivamente). El frente de dolomitización es ondulado y muy marcado, y corta a la estratificación en un rango que varía entre decímetros y algunos metros (Fig. 3). Ocasionalmente el frente de dolomitización sigue perfectamente la estratificación.



**Fig. 3.- Imagen de campo que muestra el contacto entre la caliza y la dolomía (frente de dolomitización).**

*Fig. 3.- Field image showing the dolomitisation front.*

Uno de los afloramientos más espectaculares corresponde al paraje del Racó del Moro (Figs. 1 y 2), donde afloran dos niveles dolomíticos que se extienden lateralmente y

de forma continua a lo largo de 2,5 km (Fig. 1 y 2). El nivel inferior, cuya potencia varía entre 100 y 150 m, reemplaza facies de wackestones y packstones biocásticos. Intercalados entre las dolomías aparecen varios niveles discontinuos de calizas sin dolomitizar y muy compactas constituidas por mudstones y wackestones ricos en espículas de esponjas, y wackestones bioclásticos. El nivel superior, de 25 m de potencia, se localiza hacia techo de la Formación Benassal y reemplaza grainstones oolíticos-bioclásticos. En contacto lateral con las dolomías del nivel superior aparecen grainstones sin dolomitizar caracterizados por una cementación intergranular de calcita muy abundante. A techo del nivel superior, la Formación Benassal está formada por grainstones peloidales-bioclásticos con glauconita y parcialmente cementados por dolomita.

### Características petrográficas

Las dolomías presentan una paragénesis formada por varias fases de reemplazamiento y otras tantas de cementación, tanto por dolomita como por calcita. La mayor parte del cuerpo dolomítico, alrededor del 60-70%, está formado por un mosaico inequigranular de cristales de dolomita de aspecto turbio y textura hipidiotópica (RD1) (Fig. 4). El tamaño de los cristales varía entre 50  $\mu$ m y 3 mm, y el color de catodoluminiscencia (CL) es rojo. Los mosaicos de RD1 presentan una porosidad intercrystalina reducida formada por vacuolas de tamaño milimétrico (Fig. 4). Los mosaicos de RD1 preservan la fábrica original (textura mimética), tal como indican los abundantes fantasmas de componentes esqueléticos (p.e. orbitolinas y placas de equínidos) y componentes no esqueléticos (p.e. oolitos y peloides) (Fig. 4). Los componentes originales también se deducen de la porosidad mól-



dica rellena de cemento de calcita que aparece entre los cristales de dolomita.

En las zonas de fractura, especialmente en los alrededores de la mineralización MVT (falla del Campello), las dolomías presentan numerosas fracturas y macrovacuolas parcialmente rellenas de dolomita barroca (SD1). La SD1 forma cristales de textura xenotópica, con las típicas caras curvas y extinción ondulante, que sobrecrece la dolomita RD1 (Fig. 4). El tamaño de los cristales varía entre 300 µm y 2 mm. En muestra de mano, la SD1 es de color amarillo a blanco. El color de CL es rojo teja, muy similar al que presenta la RD1. La formación de SD1 es anterior a la cementación de calcita y Pb-Zn-Ba asociada a la mineralización MVT.

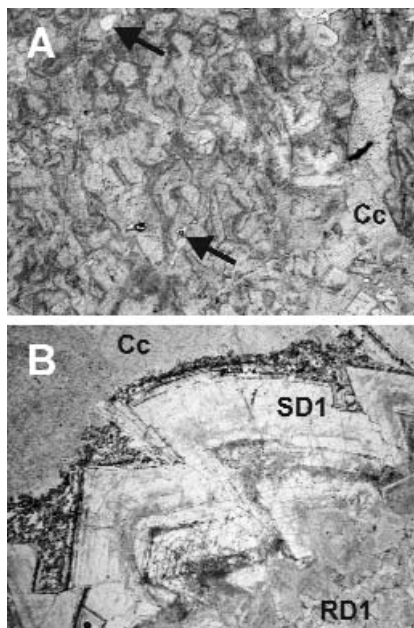
#### Mineralización MVT

Localmente las dolomías constituyen la roca de caja de mineralizaciones de tipo MVT (Pb-Zn-Ba) y mineralizaciones de óxidos de hierro. Los depósitos de MVT (mina de la Font d'en Campello) se localizan en un sistema kárstico fracturado y brechificado muy próximo a la falla del Campello (Fig. 1). La mineralización de galena, esferita y barita cementa, junto con la dolomita barroca, las fracturas y el relleno kárstico. Este último está constituido por depósitos laminados de cuarzo y mica de tamaño arena, clastos de las calizas encajantes (dolomitizados y no dolomitizados) y residuos insolubles de grano muy fino (minerales de la arcilla y óxidos de hierro). La presencia de cuarzo y mica, minerales característicos de la Formación Escucha suprayacente, sugiere que el karst y la mineralización MVT se localizan cerca del techo de la Formación Benassal.

#### Discusión y conclusiones

La cartografía geológica de la zona de Benicàssim (Cuenca del Maestrat) pone de relieve que la dolomitización de la serie aptiense afecta exclusivamente a las calizas de la Formación Benassal, en concreto a la parte superior de la serie.

Las dolomías forman cuerpos tabulares de escala sísmica y distribución estratiforme



**Fig. 4.-** Imágenes de microscopio que muestran: (A) un mosaico de cristales de dolomita RD1 con textura mimética (peloides) y porosidad intercristalina (flechas). Cemento de calcita (Cc); y (B) cristales de dolomite barroca sobrecreciendo RD1. La SD1 es anterior a la cementación por calcita (Cc).

*Fig. 4.- Microphotographs showing: (A) the typical mimetic texture of the dolomite crystal mosaics with scatter intercrystalline porosity (arrows). Calcite cement (Cc); and (B) saddle dolomite crystals overgrowing the RD1. SD1 cementation is post-dated by the ore-stage calcite cement (Cc).*

a sub-estratiforme. Esta geometría sugiere un flujo lateral de los fluidos dolomitizantes muy importante, probablemente a través de los estratos más permeables de la caliza precursora. La textura mimética de los cristales de dolomita indica que estas calizas eran preferentemente facies granosoportadas (packstones y grainstones). Así, las dolomías aparecen intercaladas entre estratos calizos calizos poco porosos, ya sean facies ricas en fango micrítico y/o facies granosoportadas cementadas por calcita.

La paragénesis descrita formada por el reemplazamiento de las calizas encajantes, la cementación por dolomita barroca y la mineralización MVT es típica de ambientes diagenéticos profundos asociados a fluidos de alta temperatura (Allan y Wiggins, 1993). El contexto estructural de la zona de estudio

sugiere un origen relacionado con la circulación de fluidos ricos en magnesio a través del sistema de fracturas y de las calizas de la Formación Benassal.

Los resultados obtenidos sugieren que la dolomitización está controlada fundamentalmente por las fallas regionales (estructura), la fábrica deposicional (facies) y la cementación temprana (diagénesis).

#### Agradecimientos

Los autores agradecen a ExxonMobil Production Company y a ExxonMobil Upstream Research Company la financiación de este proyecto de investigación. El trabajo ha sido parcialmente financiado por el Gobierno Español (Proyectos de Investigación I+D+i CGL2008-04916 y CGL2010-18260). Los autores agradecen a A.M. Alonso-Zarza y a E. Playà la revisión del manuscrito original.

#### Referencias

- Allan, J.R. y Wiggins, W.D. (1993). *Dolomite reservoirs: Geochemical techniques for evaluating origin and distribution*. American Association of Petroleum Geologists, Continuing Education Course Notes, 36.
- Climent-Domènech, H., Bover, T. y Caja, M.A. (2007). *Geogaceta*, 41, 47-50.
- Gomez-Rivas, E., Corbella, M., Martín-Martín, J.D., Teixell, A. y Cardellach, E. (2010). En: SPE – 72nd EAGE Conference and Exhibition 2010, 4, 2831-2835.
- Grandia, F., Asmerom, Y., Getty, S., Cardellach, E., Canals, A. (2000). *Journal of Geochemical Exploration*, 69-70, 377-380.
- Martín-Martín, J.D., Travé, A., Gomez-Rivas, E., Sizun, J.P., Salas, R., Gómez-Gras, D. y Vergés, J. (2010). En: SPE – 72nd EAGE Conference and Exhibition 2010, 4, 2980-2984.
- Moreno-Bedmar, J.A., Company, M., Barragán, R., Salas, R., Martín-Martín, J.D., Bover-Arnal, T. y Gomez-Rivas, E. (2009). En: P. Palmqvist y J.A. Pérez-Claros (Editors), *Comunicaciones de las XXV Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*. Libro de Resúmenes, Universidad de Málaga, 231-234.
- Roca, E., Guimerà, J. y Salas, R. (1994). *Geological Magazine*, 131, 155-168.
- Salas, J., Guimerà, J., Mas, R., Martín-Closas, A., Meléndez, A. y Alonso, A. (2001). *Mém. Mus. Natn. Hist. Nat. (Paris, France)*, 186, 145-185.
- Tomás, S., Comas Nebot, M. y Salas, R. (2007). *Geogaceta*, 41, 235-238.